Journal of Ferdowsi Civil Engineering, 36, 4, 2023. (95-108)

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Ferdowsi Civil Engineering

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir

Iranian Concrete Institute

Pavement Engineering Association of Iran

Laboratory Evaluation of the Impact of Persian Gum on the Strength Parameters of Different Soil-Structure Interfaces

Research Article

Mohammad Milad Shirazi Nezhad[1], Mohammadreza Khanmohammadi[2], Hamid Hashemolhosseini[3]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.86039.1278

1. Introduction

Soil improvement is one of the important fields in geotechnical engineering for improving the mechanical and deformation properties of soil. Evaluation of mechanical behavior of the soil-structure interface as an effective factor on the strength performance and deformation of the structure, has been the focus of many researchers. Since the interaction of the structure and the soils around it have a great impact on the soil bearing capacity, it is important to study the physical conditions.

In the structures that are in contact with the soil, the force is transferred through a very thin layer called the contact surface between the soil and the structure, and this force exchange causes large local strains in the contact surface. Shear loading causes large and irreversible changes in the structure of materials with lower hardness and shear resistance. The shear resistance caused by the friction between the soil and the structure can be calculated from relation:

$$\tau = \sigma_1' . tan\varphi + C \qquad (1)$$

where, τ is the shear strength at the contact surface of soil and structure, φ is the friction angle between soil and structure, C is the adhesion between soil and structure, and σ_1' is the effective normal stress on the contact surface of soil and structure. As a result, it is expected that the soil grains will experience critical conditions at the contact surface.

The aim of this research was to investigate the impact of different physical conditions of the soil-structure contact surface on the behavior of the soil-structure interface by large-scale direct shear test. To achieve this aim, 27 series of large-scale direct shear tests were performed and the methods of roughing, covering the contact surface with geotextile and using Persian gum were used as physical variables in the curing time of 3, 6, and 9 days.

2. Materials and equipment

Persian gum: Persian gum (PG) is obtained from the natural secretions of mountain shrubs or wild almond trees in different regions of Central Asia. This gum is usually obtained from tree branches and by scratching its bark.

Table 1. Physical and chemical properties of Persian gum

Properties	Persian gum
Appearance	white, brown, yellow crystals
Solubility in water	30% soluble-70% insoluble
pH	4.4
Carbohydrates (%)	91.3
Protein (%)	1.2
Humidity (%)	5.14

This research was carried out in three levels of 0.3, 0.6 and 0.9 weight of Persian gum.

Soil: Varzaneh sand was used for the study. The results of direct shear tests showed that internal friction angle of the soil is 29.7° and the cohesion is 6 kPa.

Steel: To conduct a large-scale direct shear test, ST37 steel with dimensions of 29.5 x 29.5 mm and a thickness of 5 mm was used in three states of smooth, using geotextile and rough.

Table 2. Friction angle between soil and surfaces

surface	Friction angle between the soil and the surface (degrees)
Smooth	18.2
Geotextile	19
Rough	19.8

Modified large-scale direct shear test: The modified large-scale direct shear test has a box with dimensions of 300 x 300 mm and a height of 150 mm, by which the

*Manuscript received, December 24, 2023, Revised December 31, 2023, Accepted, January 16, 2024.

[1]. MSc Student, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

[2]. Corresponding author. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. **Email**: mkhanmohammadi@iut.ac.ir.

[3]. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

sample is cut at the contact surface between soil and steel. All the tests were performed at three normal stress levels of 50, 100, and 150 kPa and at a constant rate, and the relative density of the samples was considered a constant value of 30%. The difference between the modified direct shear test and the normal direct shear test is that in the normal direct shear test, both the upper and lower halves of the cutting box are filled with soil, but in the modified direct shear test, the tested structure is made of different materials such as steel, concrete, and wood. Instead of the soil, it is placed in one of the two upper or lower halves. The way of conducting the test is that, first the normal stress reaches the desired value, and then the device moves at a constant rate and the values of shear stress and vertical displacement are taken. This test continues until the shear stress reaches its maximum value and then the shear stress decreases or constant.

3. Conclusion

Persian gum is known as a hydrocolloid and environmentally friendly gum, which is also found in abundance in Iran and is much cheaper than other gums. Based on the results of carried out tests, the following conclusions are drawn:

- The use of Persian gum will improve the friction angle by about 4 degrees and increase adhesion by up to 30 times;
- This gum can also be used to increase the bearing capacity of steel piles;
- During a fixed amount of Persian gum, with the roughness of the surface of the steel, the adhesion and the friction angle between the soil and the structure will increase by about 25 times and 2 degrees, respectively;
- By increasing the duration of the application and drying of the gum, the friction angle between the soil and the structure increases by about 2 degrees.

مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/

انجمن بتن ایران
انجمن مهندسی روسازی ایران

ارزیابی آزمایشگاهی اثر صمغ فارسی بر پارامترهای مقاومتی سطوح تماس مختلف خاک- سازه*

مقاله پژوهشی

محمدمیلاد شیرازی نژاد(۱) محمدرضا خانمحمدی(۲) حمید هاشم‌الحسینی(۳)

DOI: 10.22067/jfcei.2024.86039.1278

چکیده ارزیابی رفتار مکانیکی سطح تماس خاک- سازه به عنوان یک عامل مؤثر بر عملکرد مقاومتی و تغییر شکل سازه، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. با توجه به تأثیر برهم‌کنش سازه و لایه خاک اطراف آن بر ظرفیت باربری خاک، مطالعه شرایط فیزیکی ناحیه فوق امری مهم می‌باشد. در این پژوهش با در نظر گرفتن مدت زمان عمل آوری، اثر استفاده از صمغ فارسی و میزان زبری فولاد در رفتار سطح تماس خاک- سازه به وسیله دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد بررسی قرار گرفته است. صمغ مصرفی در سه میزان ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد بر روی سه سطح صیقلی، زبر و پوشیده شده با ژئوتکستایل استفاده شد. بر اساس نتایج با تزریق صمغ فارسی به سطح تماس خاک- شمع، چسبندگی بین خاک و سطح تماس تا حدود ۲۰ برابر و زاویه اصطکاک داخلی به میزان یک درجه افزایش می‌یابد. نرخ افزایش پارامترهای مقاومتی با زیاد شدن مدت زمان عمل‌آوری کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی سطح تماس خاک- سازه، صمغ فارسی، مدت زمان عمل‌آوری، زبری سطح، آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس.

Laboratory Evaluation of the Effect of Persian Gum on the Strength Parameters of Different Soil-Structure Interfaces

Mohammad Milad Shirazi Nezhad Mohammadreza Khanmohammadi Hamid Hashemolhosseini

Abstract *Evaluation of mechanical behavior of the soil-structure interface has been the focus of many researchers as an effective factor on the strength performance and deformation of the structure. Since the interaction of the structure and the soils around it will have a great impact on the soil bearing capacity, it is important to study the physical conditions. In this study, taking into account the curing time, effect of using Persian gum and the roughness of the steel on the behavior of the soil-structure interface using large-scale direct shear test have been investigated. The Persian gum was used in three amounts of 0.3, 0.6 and 0.9% on three smooth, rough and geotextile covered surfaces. Based on the results, by injecting Persian gum into the soil-candle interface, the adhesion between soil and contact surface increases by about 20 times and the internal friction angle increases by one degree. The rate of increase of strength parameters decreases with increasing curing time.*

Key Words Soil-structure interface, Persian gum, Curing time, Roughness, Large-scale direct shear test.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۲/۱۰/۳ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۲/۱۱/۲۵ می‌باشد.

(۱) کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

(۲) نویسنده مسئول، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

(۳) دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

Email: mkhanmohammadi@iut.ac.ir

مقدمه

مهندسی ژئوتکنیک در تقویت خاک و استفاده بهینه از آن در ساخت و ساز، به عنوان یکی از شاخه‌های مهندسی عمران قدمتی دیرینه دارد. در بین النهرین و بابل باستان، از گل به عنوان مصالح ساختمانی رایج برای ایجاد معماری شهری استفاده می‌شده است. سومریان به طور گسترده‌ای از قیر برای بهبود دوام در دیواره‌های زمین استفاده می‌کردند [1]. با پیشرفت علم و کشف مواد طبیعی پوزولانی مانند خاکستر آتشفشانی، دوام و مقاومت مصالح ساختمانی بهبود یافته است [2]. با انقلاب صنعتی، سیمان معمولی مانند سیمان پرتلند به عنوان پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی نه تنها در صنعت ساخت و ساز بلکه برای تثبیت و تقویت خاک شناخته شد [2]. هدف اصلی تثبیت خاک، تقویت خواص مهندسی آن مانند مقاومت و دوام در برابر چرخه‌های خشک و تر شدن می‌باشد. دو روش رایج مورد استفاده در تقویت خاک شامل تقویت مکانیکی و تقویت شیمیایی می‌باشد. تقویت مکانیکی از طریق یک روش فیزیکی مانند ایجاد تراکم با اعمال بارگذاری، زهکشی و ایجاد چسبندگی انجام می‌گیرد؛ در حالی تقویت شیمیایی از طریق واکنش‌های شیمیایی مانند هیدراته شدن سیلیکات کلسیم بین ذرات خاک اتفاق می‌افتد [3]. به منظور بهبود روش‌های پیشین تقویت خاک، رویکرد استفاده از مواد بیولوژیکی مانند پلیمرهای ناشی از فعالیت‌های میکروبی و بیوپلیمرها معرفی شد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر شرایط فیزیکی مختلف سطح تماس خاک- سازه بر ظرفیت باربری به و سیله دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس می‌باشد. بدین منظور از روش‌های زبر کردن، پوشش سطح تماس با ژئوتکستایل و استفاده از صمغ فارسی به عنوان متغیرهای فیزیکی استفاده شد. همچنین برای برر سی در صد بهینه صمغ، نمونه‌های مختلفی با درصدهای مختلفی از صمغ تهیه شده و مورد مطالعه قرار گرفته است.

سطح تماس خاک سازه

در سازه‌هایی که در تماس خاک قرار دارند، نیرو از طریق یک لایه بسیار نازک که سطح تماس خاک و سازه نام دارد، منتقل می‌شود و این تبادل نیرو موجب به وجود آمدن کرنش‌های موضعی بزرگی در سطح تماس می‌گردد. بارگذاری برشی باعث به وجود آمدن تغییرات بزرگ و برگشت ناپذیری در ساختار مصالح دارای سختی و مقاومت برشی کمتر می‌شود [3,4]. مقاومت بر شی نا شی از ا صطکاک میان خاک و سازه از رابطه (۱) قابل محاسبه می‌باشد:

$$\tau = \sigma'_n . \tan\varphi + C \quad (۱)$$

که در این رابطه τ مقاومت بر شی در سطح تماس خاک و سازه، φ زاویه ا صطکاک بین خاک و سازه، C چ سبندگی بین خاک و سازه و σ'_n تنش مؤثر نرمال بر سطح تماس خاک و سازه می‌باشد. در نتیجه انتظار می‌رود که دانه‌های خاک در سطح تماس، شرایط بحرانی را تجربه نمایند.

دی یانگ و همکاران نشان دادند که می‌توان از مفاهیم مکانیک خاک در حالت بحرانی برای توصیف رفتار سطح تماس خاک‌های دانه‌ای و سازه ا ستفاده کرد [5]. تاکنون پژوه شگران بسیاری رفتار سطح تماس خاک- سازه را به وسیله دستگاه‌های آزمایشگاهی مختلفی از قبیل دستگاه برش ساده، برش مستقیم، برش میله‌ای، برش حلقوی، دستگاه مخزن کالیبراسیون، دستگاه سانتریفیوژ ژئوتکنیکی و دستگاه فشار همه‌جانبه مخروطی مورد بررسی قرار داده‌اند [3-15].شرایط فیزیکی مختلفی از قبیل میزان زبری، ضخامت سطح تماس، شرایط محصور شدگی و مسیر تنش بر رفتار سطح تماس خاک- سازه تأثیر می‌گذارند.

روش‌های تقویت خاک

مهندسی ژئوتکنیک در تقویت خاک و استفاده بهینه از آن در ساخت و ساز، به عنوان یکی از شاخه‌های مهندسی عمران قدمتی دیرینه دارد [15]. در بین النهرین و بابل باستان، از گل به عنوان مصالح ساختمانی رایج برای ایجاد معماری شهری استفاده می‌شده است. سومریان به طور گسترده‌ای از قیر برای بهبود دوام در دیواره‌های زمین استفاده می‌کردند [16]. با پیشرفت علم و کشف مواد طبیعی پوزولانی مانند خاکستر آتشفشانی، دوام و مقاومت مصالح ساختمانی بهبود یافته است. با انقلاب صنعتی، سیمان معمولی مانند سیمان پرتلند به عنوان پرمصرف‌ترین ماده ساختمانی نه تنها در صنعت ساخت و ساز بلکه برای تثبیت و تقویت خاک شناخته شد [17]. مقاومت زیاد، دوام و کارایی بالا و هزینه پایین در تهیه و اجرا از مزایای استفاده از سیمان می‌باشد. با وجود مزایای زیاد این ماده، حین تولید یک تن سیمان حدود ۰/۴ تن گاز کربن دی اکسید تولید می‌شود. علاوه

بر تولید گاز کربن دی اکسید، با ورود سیمان به خاک حین انجام فرایند هیدرا سیون، یون هیدروکسید (OH) آزاد شده که باعث افزایش pH خاک تا حدود ۱۳ می‌شود. این موضوع اثرات زیادی بر فرایندهای زیستی و روان‌آب‌های شهری خواهد داشت [18]. با پیشرفت علم علاقه دانشمندان به استفاده از مواد سازگار با محیط زیست برای مصارف عمرانی افزایش یافته است. از آنجا که استفاده از سیمان اثرات مخربی بر محیط زیست خواهد داشت امروزه روش‌های نوین از جمله استفاده از ژئوسنستیک‌ها، تثبیت کننده‌های شیمیایی، روش‌های بیولوژیکی، ژئوپلیمرها و بیوپلمیرها معرفی شده است [19-21]. در این مقاله تأثیر صمغ فارسی به عنوان یک ماده سازگار با محیط زیست بر تقویت خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بر اساس مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر بیو مواد به عنوان یکی از مواد سازگار با محیط زیست اثرات قابل توجهی در تقویت و تثبیت خاک از خود نشان داده است. صمغ‌های هیدروکلوئیدی که پلی ساکاریدهای طبیعی نیز نامیده می‌شوند دسته‌ای از کربوهیدرات‌های پلیمری با خاصیت افزایش ویسکوزیته هستند که در صنایع مختلف مانند مواد غذایی، نساجی و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دسترسی آسان و حذف اثرات نامطلوب سایر افزودنی‌ها باعث محبوبیت این مواد شده است به طوری که در سال‌های اخیر تأثیر صمغ‌های هیدروکلوئیدی به دست آمده از منابع مختلف مانند منابع میکروبی(صمغ زانتان)، منابع گیاهی(صمغ گوار) و موجودات دریایی(آگار) بر رفتار خاک مورد بررسی قرار گرفته است. صمغ‌ها با تشکیل یک ژل چسبنده که مانند پل ارتباطی بین ذرات خاک عمل می‌کند باعث افزایش استحکام و انسجام مکانیکی خاک شده و در نهایت رفتار خاک را بهبود می‌بخشد. [22]

مصالح مصرفی و دستگاه های مورد استفاده

صمغ فارسی

صمغ فارسی یا به اختصار PG از ترشحات طبیعی درختچه‌های کوهی یا درخت بادام وحشی در مناطق مختلف آسیای مرکزی به دست می‌آید. این صمغ معمولا از شاخه‌های درخت و در اثر خراشیده شدن پوسته آن به دست می‌آید. در منابع مختلف گاهی از صمغ فارسی به نام‌های صمغ نوتراس، صمغ شیرازی و یا آنگوم نیز یاد می شود [23]. از آنجا که صمغ فارسی ساختار مشابهی با صمغ عربی دارد در برخی منابع به اشتباه از آن به عنوان صمغ عربی یاد شده است. با این حال برخی از ویژگی‌های خاص صمغ فارسی مانند میزان پروتئین کم و وجود mannose و xylose در آن، این صمغ را از صمغ عربی متمایز می‌کند [24]. در جدول (۱) خواص فیزیکی و شیمیایی صمغ فارسی و دو صمغ دیگر بررسی شده است. اولین تحقیقات بر روی مشخصات PG در سال ۲۰۰۶ در آزمایشگاه کلوئیدهای غذایی و رئولوژی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. براساس نتایج PG یک پلی ساکارید اسیدی و آنیونی می‌باشد که هر چه رنگ آن رو شن‌تر با شد pH بالاتری دارد و به طور کلی pH آن بین ۴/۳ تا ۴/۹ می‌باشد. از نظر رطوبت با توجه به زمان برداشت و محل کشت ممکن است حاوی ۵ تا ۱۳ درصد وزنی آب باشد [23]. به طور کلی خواص عملکردی پلی ساکاریدها مانند خاصیت امولسیون کنندگی و خاصیت تثبیت کنندگی مستقیما به ساختار شیمیایی و وزن مولکولی آن‌ها مربوط است، بنابراین مشخص شدن ساختار شیمیایی PG یک گام بسیار مهم برای درک خواص آن و استفاده بهینه از رفتار آن می‌باشد [24].

قاسم‌زاده و همکاران [23] به بررسی رفتار خاک رس تثبیت شده با صمغ فارسی و مقایسه آن با برخی دیگر از صمغ‌های موجود پرداختند. نمونه‌ها به مدت ۷ روز در اتاقی با دمای کنترل شده ۲۲ درجه سانتی‌گراد عمل‌آوری شده‌اند. نتایج آزمایش مقاومت فشاری محصور نشده (UCS) برای نمونه تثبیت نشده و نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف از صمغ زانتان، صمغ گوآر و صمغ فارسی در شکل (۱۷-۲) آورده شده است. برای هر روش تثبیت مقدار ماده افزودنی تا زمانی که مقاومت فشاری شروع به کاهش کند افزایش داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش UCS مقادیر بهینه ماده افزودنی به ترتیب ۱، ۱/۵، ۲ و ۲/۵ درصد وزنی خاک خشک برای نمونه‌های تثبیت شده با صمغ زانتان خیس، صمغ گوآر خیس، صمغ فارسی خشک و صمغ فارسی خیس می‌باشد.



شکل ۱ انواع صمغ فارسی

جدول ۱ مقایسه خواص فیزیکی و شیمیایی صمغ های زانتان، گوار و فارسی [9]

خصوصیات	صمغ فارسی	صمغ گوآر	صمغ زانتان
شکل ظاهری	کریستال‌های سفید، قهوه‌ای، زرد	پودر سفید	پودر سفید
حلالیت در آب	٪۳۰محلول–٪۷۰نامحلول	محلول	محلول
pH	۴/۴	۶/۵	۷/۰۴
کربوهیدرات(٪)	۹۱/۳	۸۱	۸۲
پروتئین(٪)	۱/۲	۴	۵
چربی(٪)	۰/۲	۰/۵	۰/۱
رطوبت(٪)	۵/۱۴	۱۱/۸	۹/۴

جهت مشخص نمودن میزان صمغ فارسی در پژوهش، از آزمایش برش مستقیم استفاده گردید و مشاهده شد استفاده بیش از ۱ درصد وزنی صمغ فارسی موجب استحکام بسیار زیاد نمونه شده است به گونه‌ای که دستگاه برش مستقیم مورد استفاده توانایی برش نمونه را نخواهد داشت. بدین جهت سه سطح ۰٫۳، ۰٫۶ و ۰٫۹ در صد وزنی صمغ فارسی جهت انجام آزمایشات آتی انتخاب گردید.

خاک

در این پژوهش از ماسه ورزنه جهت مطالعه استفاده شده است. مشخصات این خاک در جدول (۲) قابل مشاهده می‌باشد. برای به دست آوردن مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک از دستگاه برش مستقیم بر مبنای استاندارد ASTM 3080 استفاده شد. با توجه به نتایج این آزمایش، مقدار زاویه اصطکاک خاک مورد استفاده ۲۹/۷ و چسبندگی ۶ کیلوپاسکال تعیین گردید.

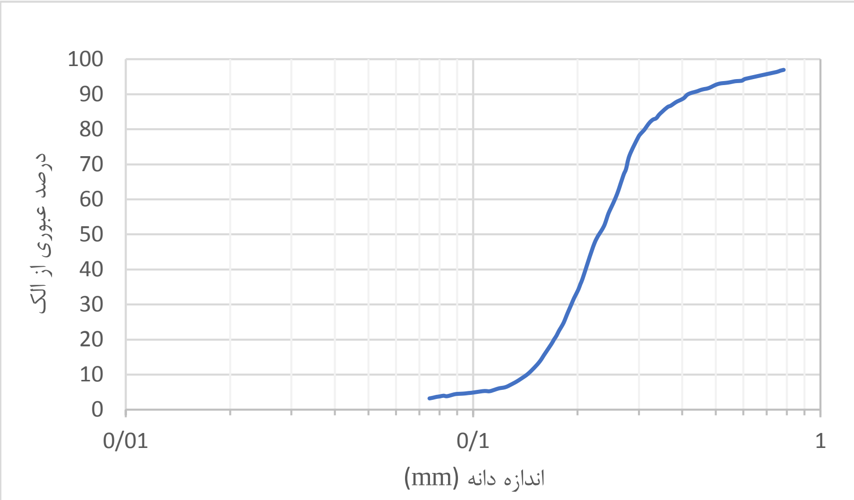
برای انجام آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس از فولاد ST37 با ضخامت ۵ میلی‌متر استفاده شد. بدین صورت که ورق فولاد به ابعاد ۲۹/۵×۲۹/۵ سانتی‌متر برش داده شد و تعداد ۵ عدد قوطی ۲×۲ سانتی‌متری به عنوان پایه به آن جوش داده شد.

در شکل (۳) قالب برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد استفاده نشان داده شده است. جهت تعیین زبری سطح فولاد مصرفی از دستگاه سنجش زبری Mitutoyo مدل SJ-210/310/410 موجود در دانشکده مواد دانشگاه صنعتی اصفهان که نوعی زبری سنج تماسی است استفاده شده است. نحوه کار دستگاه به این صورت است که ۴ نقطه در اطراف قالب انتخاب شده و حسگر بسیار حساس دستگاه بر روی آن‌ها قرار گرفته و ضمن تماس با نمونه، زبری آن را محاسبه می‌کند. پارامتر R_a که یکی از خروجی‌های دستگاه می‌باشد و از طریق رابطه (۲) به دست می‌آید؛ به عنوان زبری نمونه گزارش می‌شود. به منظور کاهش خطای اندازه‌گیری، زبری نمونه در چهار نقطه مختلف اندازه‌گیری شده و سپس میانگین آن‌ها به عنوان زبری گزارش شده است. در شکل (۴) و (۵) تصویر نقاط انتخاب شده و حسگر دستگاه و در شکل‌های (۶) و (۷) نمودار زبری‌های به‌دست آمده از دستگاه برای فولادهای صیقلی و زبر آمده است. همچنین نتایج آزمایش زبری نیز در جدول (۳) قابل مشاهده می‌باشد.

$$R_a = \frac{1}{l}\int_0^l |y| dx \qquad (۲)$$

جدول ۲ مشخصات ماسه ورزنه مورد استفاده

آزمایش	استاندارد	نتایج
وزن مخصوص حداکثر (kN/m^3)	ASTM D4253 (ASTM, 2014)	۱۷/۹
وزن مخصوص حداقل (kN/m^3)	ASTM D4254 (ASTM, 2014)	۱۴/۲
وزن مخصوص ویژه خاک	ASTM D584 (ASTM, 2010)	۲/۶۷
اندازه متوسط دانه‌ها (mm)	ASTM D2487 (ASTM, 2006)	۰/۲۳
اندازه مؤثر دانه‌ها (mm)	ASTM D2487 (ASTM, 2006)	۰/۱۴
ضریب یکنواختی	ASTM D2487 (ASTM, 2006)	۲



شکل ۲ نمودار دانه‌بندی ماسه مورد استفاده



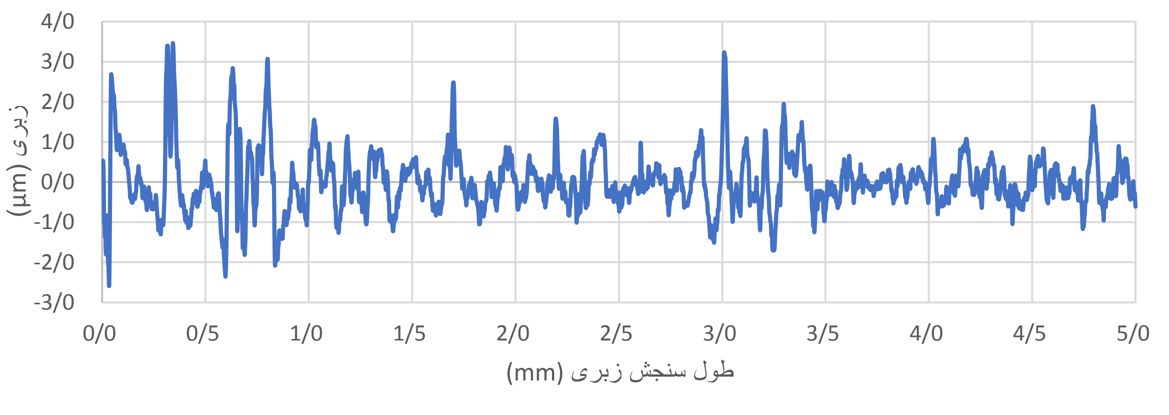
شکل ۳ قالب برش مستقیم بزرگ مقیاس ساخته شده



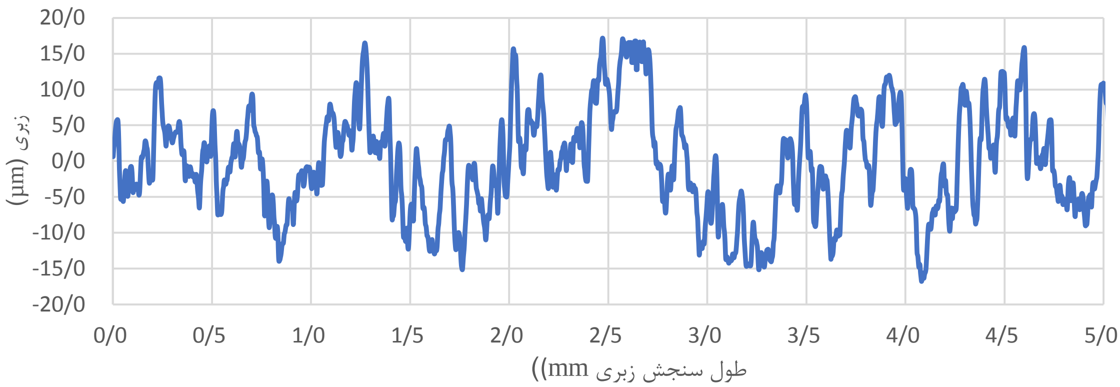
شکل ۴ نقاط انتخاب شده جهت محاسبه زبری توسط دستگاه Mitutoyo



شکل ۵ حسگر دستگاه Mitutoyo



شکل ۶ پروفیل زبری فولاد صیقلی



شکل ۷ پروفیل زبری فولاد زبر

جدول ۳ زبری فولادهای مورد استفاده

نوع فولاد	زبری (µm)
صیقلی	۰/۵۳۲
زبر	۵/۵۸۲

ژئوتکستایل

به عنوان یکی از سطوح مورد نظر برای نشان دادن تأثیر زبری از ژئوتسکتایل استفاده شد. برای مقایسه میزان زبری ژئوتکستایل با سطح صیقلی و زبر می‌توان زاویه اصطکاک بین خاک و ژئوتکستایل را با زاویه اصطکاک بین خاک و فولاد مقایسه کرد. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و سطوح مورد آزمایش در جدول (۴) آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که میزان زبری ژئوتکستایل بین دو سطح فولاد صیقلی و زبر قرار دارد.

جدول ۴ زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و سطوح

سطح	زاویه اصطکاک بین خاک و سطح (درجه)
فولاد صیقلی	۱۸/۲
ژئوتکستایل	۱۹
فولاد زبر	۱۹/۸

دستگاه برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس

هدف از انجام این تحقیق تقویت و به‌سازی رفتار خاک با استفاده از صمغ فارسی می‌باشد. به منظور دست‌یابی به این مهم تعداد ۲۷ سری تست به وسیله دستگاه برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس انجام شد. تفاوت دستگاه برش مستقیم اصلاح شده با دستگاه برش مستقیم معمولی در این است که در دستگاه برش مستقیم معمولی هر دو نیمه بالا و پایین جعبه برش از خاک پر می‌شود اما در دستگاه برش مستقیم اصلاح شده سازه مورد آزمایش با جنس‌های مختلفی مانند فولاد بتن و چوب به جای خاک در یکی از دو نیمه بالایی یا پایینی قرار میگیرد نحوه انجام آزمایش بدین صورت است که ابتدا تنش نرمال به مقدار مورد نظر رسیده، سپس دستگاه با سرعت ثابت حرکت نموده و مقادیر تنش برشی و جابه‌جایی عمودی برداشت می‌گردد. این آزمایش تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که تنش برشی به مقدار بیشینه خود برسد و پس از آن تنش برشی کاهش پیدا کرده و ثابت شود. دستگاه برش مستقیم مذکور دارای جعبه‌ای به ابعاد ۳۰۰×۳۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۵۰ میلی‌متر می‌باشد که به وسیله آن نمونه در سطح تماس بین خاک و فولاد برش می‌خورد. تمامی آزمایش‌ها در سه سطح تنش نرمال ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال و در سرعت ثابت انجام گرفته است و چگالی نسبی نمونه‌ها مقدار ثابت ۳۰ درصد در نظر گرفته شده است. نحوه آماده‌سازی نمونه با دانسیته نسبی ۳۰ درصد بدین صورت است که با توجه به مشخصات خاک مورد آزمایش در جدول (۲) و همچنین فرمول $D_r = \frac{\gamma_{d\,max}}{\gamma_d} \times \frac{\gamma_d - \gamma_{d\,min}}{\gamma_{d\,max} - \gamma_{d\,min}}$ مقدار γ_d به دست آمده و سپس با توجه به فرمول γ_d و رطوبت ۲۰٪، نسبت تخلخل (e) محاسبه گردیده و میزان وزن خاک مورد استفاده به دست آمد. در شکل (۸) دستگاه برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس و نمونه قالب مورد استفاده، در شکل (۹) سه سطح زبری فولاد و در شکل (۱۰) نمونه‌های مورد آزمایش قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۸ دستگاه برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس مورد استفاده و نمونه قالب ساخته شده



(الف) (ب) (ج)

شکل ۹ قالب‌های برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس: (الف) سطح صیقلی، (ب) سطح پوشیده شده با ژئوتکستایل، (ج) سطح زبر



شکل ۱۰ نمونه‌های آزمایش برش مستقیم اصلاح شده بزرگ مقیاس

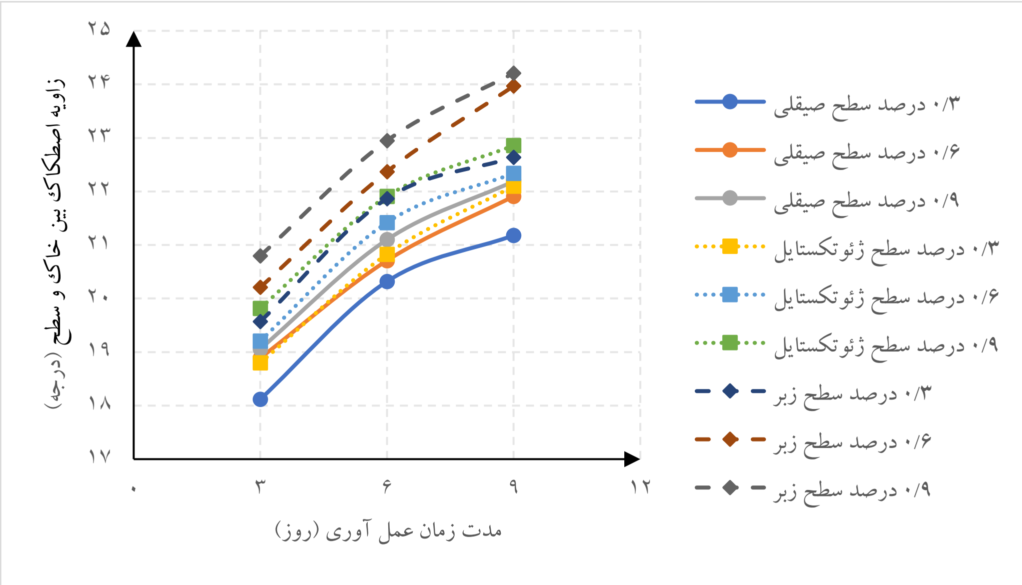
بررسی و تحلیل نتایج

در جداول (۵) و (۶) مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک بین خاک و سطح به تفکیک آزمایش‌های انجام شده، آورده شده است. در شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نیز به ترتیب نمودارهای زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و سطح و چسبندگی بین خاک و سطح در مدت زمان معین قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به جدول‌ها و نمودارها قابل مشاهده است که بهترین حالت از بین حالت‌های موجود، حالتی است که در آن ۰/۹ درصد وزنی صمغ فارسی به خاک اضافه شده، مدت زمان عمل‌آوری ۹ روز بوده و سطح مورد نظر زبر باشد. قابل ذکر است که به جهت

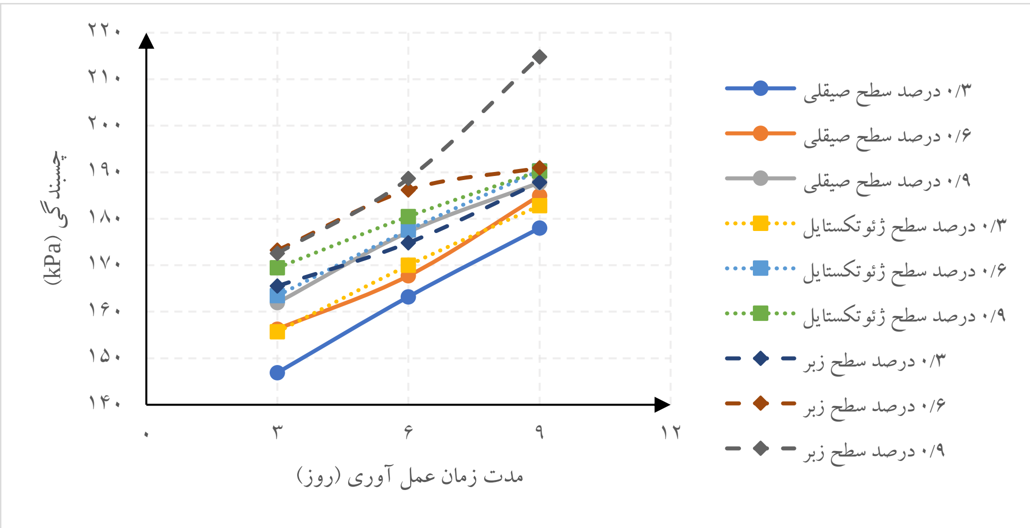
اطمینان از مقادیر به دست آمده، تعداد ۵ سری تست به صورت تصادفی انجام شد که درصد خطای مقادیر به دست آمده با نتایج اصلی کمتر از ۱۰ درصد بوده و می‌توان گفت نتایج به دست آمده قابل اطمینان می‌باشد. در شکل (۱۱) تصویر نمونه برش خورده قابل مشاهده است. همان طور که در شکل قابل مشاهده می‌باشد نمونه از مرز بین سطح و خاک برش خورده و به میزان ۱۱ میلی‌متر جابه‌جا شده است.



شکل ۱۱ نمونه برش مستقیم بزرگ مقیاس



شکل ۱۲ تغییرات زاویه اصطکاک بین خاک و سطح به مدت زمان عمل‌آوری



شکل ۱۳ تغییرات چسبندگی سطح به مدت زمان عمل‌آوری

جدول ۵ مقادیر زاویه اصطکاک بین خاک و سطح (درجه)

نوع سطح	میزان درصد صمغ فارسی	مدت زمان عمل‌آوری		
		۳ روز	۶ روز	۹ روز
صیقلی	۰/۳ درصد	۱۸/۶	۲۰/۵	۲۱/۷
	۰/۶ درصد	۱۹/۴	۲۱/۳	۲۲/۵
	۰/۹ درصد	۱۹/۶	۲۱/۷	۲۲/۸
ژئوتکستایل	۰/۳ درصد	۱۹/۶	۲۱/۷	۲۳/۱
	۰/۶ درصد	۲۰/۱	۲۲/۴	۲۳/۳
	۰/۹ درصد	۲۰/۷	۲۲/۹	۲۴/۳
زبر	۰/۳ درصد	۲۰/۶	۲۱/۸	۲۳/۹
	۰/۶ درصد	۲۱/۳	۲۳/۶	۲۵/۱
	۰/۹ درصد	۲۱/۹	۲۴/۲	۲۵/۵

جدول ۶ مقادیر چسبندگی بین خاک و سطح (kPa)

نوع سطح	میزان درصد صمغ فارسی	مدت زمان عمل‌آوری		
		۳ روز	۶ روز	۹ روز
صیقلی	۰/۳ درصد	۱۴۶/۹	۱۶۳/۲	۱۷۸/۰
	۰/۶ درصد	۱۵۶/۳	۱۶۷/۷	۱۸۵/۰
	۰/۹ درصد	۱۶۱/۹	۱۷۷/۲	۱۸۷/۸
ژئوتکستایل	۰/۳ درصد	۱۵۵/۷	۱۷۰/۰	۱۸۲/۸
	۰/۶ درصد	۱۶۳/۵	۱۷۷/۶	۱۹۰/۳
	۰/۹ درصد	۱۶۹/۵	۱۸۰/۵	۱۹۰/۳
زبر	۰/۳ درصد	۱۶۵/۵	۱۷۴/۸	۱۸۷/۹
	۰/۶ درصد	۱۷۳/۲	۱۸۶/۲	۱۹۰/۹
	۰/۹ درصد	۱۷۲/۵	۱۸۸/۶	۲۱۴/۸

تأثیر صمغ فارسی

با افزایش میزان صمغ فارسی، هر دو پارامتر چسبندگی و زاویه اصطکاک بین خاک و سطح با افزایش مواجه شده است که امری قابل پیش‌بینی می‌باشد. نکته قابل توجه از مقایسه نمودارها این است که مقدار عددی افزایش هر دو پارامتر چسبندگی و زاویه اصطکاک بین خاک و سطح بین دو سطح ۰/۳ و ۰/۶ درصد در اکثر موارد بیشتر از این میزان بین دو سطح ۰/۶ و ۰/۹ درصد می‌باشد که نشان دهنده این مطلب است که میزان افزایش این دو پارامتر به صورت خطی نمی‌باشد. مقادیر زاویه اصطکاک داخلی بین خاک و فولاد و چسبندگی بین مقادیر ۰ و ۰/۳ درصد در مدت زمان عمل آوری و سطح ثابت، به طور میانگین به ترتیب ۱۷ و ۲۷۰۰ درصد افزایش یافته‌اند که این افزایش بین ۰/۳ و ۰/۶ ۳/۰۱ و ۳/۲۹ درصد و بین مقادیر ۰/۶ و ۰/۹ درصد برابر ۲/۰۴ و ۲/۴۸ درصد می‌باشد.

تأثیر مدت زمان عمل‌آوری

با مقایســـه مقادیر جدول‌های (۵) و (۶)، می‌توان دریافت با افزایش مدت زمان عمل‌آوری، این مقادیر نیز افزایش می یابند. مقدار افزایش این موارد بین مدت زمان ۳ و ۶ روز در درصـــد صمغ و سطح فولاد ثابت به طور میانگین، به ترتیب برابر ۱۰/۹ و ۱۱/۲۲ درصد می‌باشد که این مقدار در مدت زمان‌های ۶ و ۹ روز برابر ۵/۱۲ و ۴/۴۳ درصـــد می باشـــد که کاهش قابل ملاحظه‌ای داشــته و مقادیر تقریبا نصــف شــده اســت. دلیل این کاهش این است که میزان کاهش رطوبت و خشک شدن نمونه در مدت زمان بین ۳ تا ۶ روز بســیار بیشــتر از ۶ تا ۹ روز می‌باشد.

تأثیر نوع سطح فولاد

با توجه به مقادیر موجود در جدول‌های (۵) و(۶) ، هر دو پارامتر زاویه اصطکاک بین خاک و سطح و چسبندگی، زمانی که زبر می‌شوند با افزایش مواجه می‌شوند. دلیل این موضوع این است که دانه‌های ماسه بین شیارهای سطح مورد استفاده گیر افتاده و سخت‌تر جدا می‌شوند. مقایسه داده‌های موجود در جدول‌های (۵) و(۶)، نشان دهنده این مطلب می‌باشد که میزان افزایش هر دو پارامتر زاویه اصطکاک بین خاک و سطح و چسبندگی بین دو سطح صیغلی و پوشیده شده با ژئوتکستایل به ترتیب برابر ۳/۱۷ و ۴/۸۳ درصد و بین دو سطح پوشیده شده با ژئوتکستایل و زبر برابر ۴/۸۹ و ۵/۱۱ درصد می‌باشد که بیانگر این موضوع است که با افزایش زبری سطح، هر دو مقادیر زاویه اصطکاک بین خاک و سطح و چسبندگی افزایش می‌یابند.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش پیش رو مشاهده گردید که صمغ فارسی نقش به سزایی در استحکام و افزایش ظرفیت باربری خاک خواهد داشـــت. از این رو می‌توان از آن برای اسـتحکام و به‌سـازی خاک‌های سـسـت اسـتفاده کرد. همچنین می‌توان از این صمغ جهت افزایش باربری شمع‌های فولادی در خاک‌ها نیز بهره جســت. بدین صـــورت که تزریق صـــمغ به روش های مختلف در اطراف شـــمع فولادی، موجب افزایش

زاویه اصطکاک خاک شمع و افزایش ظرفیت باربری آن خواهد شد.

نتیجه‌گیری

رفتار سطح تماس خاک سازه به دلیل اثر آن بر ظرفیت باربری سازه بسیار مهم می‌باشد و مطالعه شرایط فیزیکی این ناحیه و عوامل مؤثر بر آن بسیار با اهمیت می‌باشد. از انواع شرایط فیزیکی مؤثر بر آن تزریق و استفاده از انواع صمغ‌ها از جمله صمغ فارسی، مدت زمان عمل‌آوری و زبری فولاد مورد استفاده می‌باشد. با توجه به موارد زیست محیطی استفاده از سیمان در تقویت خاک، امروزه استفاده از مواد و صمغ‌های هیدروکلوئیدی مورد توجه قرار گرفته است. صمغ فارسی به عنوان یک صمغ هیدروکلوئیدی و سازگار با محیط زیست شناخته می‌شود که در ایران نیز به فراوانی یافت می‌شود و نسبت به صمغ‌های دیگر بسیار ارزان‌تر می‌باشد. استفاده از صمغ فارسی در به‌سازی خاک، موجب افزایش پارامترهای مقاومتی خاک می‌شود. از این صمغ می‌توان برای افزایش ظرفیت باربری شمع‌های فولادی نیز استفاده نمود. نوع فولاد مورد استفاده نیز تأثیر قابل توجهی بر ظرفیت باربری و زاویه اصطکاک خاک – سازه خواهد داشت که باید مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

مراجع

[1] DT. Potts, Mesopotamian civilization: the material foundations: A&C Black; 1997.

[2] Jahani, Amir, A. Raeesi Estabragh, H. Khajepour, M. Amini, “ Comparison of the Effect of Cement, Ground Granulated Blast-Furnace Slag (GGBS), and Activated GGBS on Stabilization of a Clay Soil,” Ferdowsi Civil Engineering, vol. 35 (3), pp. 89-1062022. https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.74908.1115

[3] E . Evgin, K. Fakharian, “ Effect of stress paths on the behaviour of sand steel interfaces,” *Canadian geotechnical journal*, vol. 33(6), pp. 853-65. 1997. https://doi.org/10.1139/t96-116-336

[4] JT. DeJong, ZJ. Westgate, “ Role of initial state, material properties, and confinement condition on local and global soil-structure interface behavior,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*,vol. 135(11), pp. 1646-60. *2009. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2009)135:11(1646)*

[5] L. Hu, J. Pu, “ Testing and modeling of soil-structure interface,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 130(8), pp. 851-60. 2004.https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:8(851)

[6] H. Kishida, M. Uesugi, “ Tests of the interface between sand and steel in the simple shear apparatus,” Géotechnique, vol. 37(1), pp. 45-52. 1987. https://doi.org/10.1680/geot.1987.37.1.45

[7] M. Lings, M. Dietz, “ The peak strength of sand-steel interfaces and the role of dilation. Soils and foundations,” vol. 45(6), pp. 1-142005. . https://doi.org/10.3208/sandf.45.1

[8] D. Porcino, V. Fioravante, V. N. Ghionna, S. Pedroni, “ Interface behavior of sands from constant normal stiffness direct shear tests,” *Geotechnical Testing Journal*, vol. 26(3), pp. 289-301. 2003. http://dx.doi.org/10.1520/GTJ11308J

[9] R. Rezvani, M. Azizi, P. Nopars, A. Nabizadeh, “ Evaluating the Effects of Lime and Nano-Lime on Compaction and Strength Properties of Chaloos Coastal Sand,” *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 33 (2), pp. 55-70, 2021.https://doi.org/10.22067/civil.v33i2.85864

[10]A. Russell, M. Pournaghiazar, N. Khalili, “ editors. Interpreting CPT results in unsaturated sands,” 2nd International

Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA, 2010.

[11]Sedran, G., 1999. Experimental and analytical study of a frustum cnfining vessel. A Thesis Submitted to the School of Graduate Studies in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy, McMaster Unv, Canada..

[12] R. G. Horvath, D. Stolle. "Frustum confining vessel for testing model piles," *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 33(3), pp. 499-504, 1996. https://doi.org/10.1139/t96-071

[13]G. Mullins, S. Dapp, E. Fredrerick, Wagner RJFRSFDoT. Pressure grouting drilled shaft tips—Phase I final report. 2001.

[14]A. Karimi, A. Eslami, M. Zarrabi, J. Khazaei, " Study of pile behavior by improvement of confining soils using frustum confining vessel," *Scientia Iranica*, vol. 24 (4), pp. 1874-1882.2017. https://doi.org/10.24200/sci.2017.4278,

[15]Kh. Mehrshahi, H. Alielahi, " Estimating the Geotechnical Design Pararameters of Improved Soil by Preloading Method Using Instrumentation Results and Numerical Approach- a Case Study," *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 30 (1), pp. 13-30, 2018. https://doi.org/10.22067/civil.v1i30.52137

[16] DT. Potts, Mesopotamian civilization: the material foundations: A&C Black, 1997.

[17] P. Sherwood, Soil stabilization with cement and lime, 1993.

[18] H. F. Taylor, Cement chemistry: Thomas Telford London, 1997.

[19] M. Amini, A. Raeesi Estabragh, J. Abdollahi, " Improvement the Behaviors of a Clay Soil Contaminated with Phenanthrene by Using MgO," *Ferdowsi Civil Engineering*, vol. 34 (3), pp. 53-66, 2021. https://doi.org/10.22067/jfcei.2022.71848.1055

[20]I. Ward, " The orientation of polymers to produce high performance materials," *Polymer Grid Reinforcement: Thomas Telford Publishing*, pp. 4-10, 1984.

[21]R. J. Barrett, " Use of plastic filters in coastal structures," *Coastal Engineering Proceedings*, vol. 1 (10), 1966. https://doi.org/10.9753/icce.v10.61

[22]H. Ghasemzadeh, F. Modiri, " Application of novel Persian gum hydrocolloid in soil stabilization," *Carbohydrate Polymers*, 246:116639. 2020. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116639

[23]S. Abbasi, " Persian gum: a novel natural hydrocolloid," *Nutrition and Food Sciences Research*, vol. 4(1), pp. 1-2, 2017.

[24]S. Abbasi, " Challenges towards characterization and applications of a novel hydrocolloid: Persian gum," Current Opinion in Colloid & Interface Science, 28:37-45, 2017. https://doi.org/10.1016/j.cocis.2017.03.001